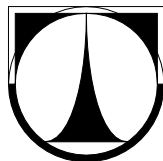


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2010

Pavel Řezníček

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Analyzator zkreslení signálu

Signal distortion analyzer

Bakalářská práce

Autor:	Pavel Řezníček
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Bažant, Ph.D.
Konzultant:	Doc. Ing. Ivan Jaksch, CSc.

V Liberci 21. 5. 2010

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne 21. května 2010

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Bažantovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce řeší problematiku měření, zpracování a analýzy signálu. Zabývá se metodami vyhodnocování zkreslení signálu při průchodu signálovou cestou, kdy signálovou cestou jsou defektoskopické sondy vířivých proudů. Práce je zaměřena na diagnostiku sond. Teoretická rešerše o různých metodách vyhodnocování základních typů zkreslení se dále zabývá metodami zpracování, zobrazení dat. Je popsán princip, na kterém jsou založeny sondy vířivých proudů. Následuje seznámení s vývojovým prostředím Labview, ve kterém je navrhován analyzátor. Uveden je vývoj uživatelského prostředí a blokového diagramu. Práce je více obsahově zaměřená na teoretické zpracování a navržení jednoduchého analyzátoru se zaměřením na diagnostiku sond vířivých proudů. Analýza je založena na využití fourierovy transformace. Prostředí analyzátoru je navrženo s ohledem na intuitivní ovládání a přehlednost.

Klíčová slova

LabVIEW, analýza signálu, Fourierova transformace, zkreslení signálu, defektoskopická sonda

Abstract

This bachelor thesis focuses on problems of measuring, processing and analysing a signal. It contains methods to analyse signal distortion after going through a signal link, where signal link is composed of two-port elements. The thesis is focused on problems with diagnosing eddy-current probes. Theoretic search on different methods of analysing basic types of distortion is further concerned with methods for processing and viewing data. Basic principles how eddy-current probes work are explained.

Introduction to the development environment LabView follows, where an analyser is designed. Development of user interface and block diagram is concerned. The thesis is focused on theoretic approach and a design of a simple analyser for diagnosing eddy-current probes. Analysis is based on use of Furier transformation. The interface of the analyser is designed for easy and intuitive use.

Keywords

LabVIEW, a signal analysis, Fourier transform, a signal distortion, defectoscopy probe

Obsah

Obsah	7
Seznam zkratk a termínů.....	9
Seznam použitých symbolů.....	9
1 Úvod	10
2 Rešerše teorie	11
2.1 Dvojbrany	11
2.1.1 Lineární dvojbrany.....	12
2.1.2 Nelineární dvojbrany.....	13
2.1.3 Hysterezní křivka	13
2.2 Defektoskopické sondy	14
2.3 Grafická zobrazení přenosových charakteristik:	16
3 Metodika měření a zpracování signálů	18
4 Fourierova transformace	18
4.1 Diskrétní signály:	19
4.2 Definice DFT	20
4.3 Rychlá Fourierova transformace	21
5 Popis prostředí LabVIEW	23
5.1 Základní části virtuálního přístroje:.....	23
6 Popis měřicí karty.....	25
6.1 Analogové vstupy	25
6.2 Analogové výstupy	26
6.3 Digitální I / O	26
7 Praktická část-Software.....	26
7.1 Návrh prostředí	26
8 Rozbor návrhu v blokovém diagramu	27
8.1 Sinusový generátor	27
8.2 Vstupně-výstupní část.....	27
8.3 Zpracování, vyhodnocení dat pomocí FFT a zobrazení	28

8.4	Popis programu	28
8.4.1	Vstupně výstupní část	29
8.4.2	Zpracování dat.....	30
9	Spektra sond.....	32
10	Závěr.....	35
11	Seznam použité literatury	36
	Přílohy	37

Seznam zkratk a termínů

DTF	Discrete Fourier Transform, diskrétní Fourierova transformace
FFT	Fast Fourier Transform, rychlá Fourierova transformace
LabVIEW	Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench
RAD	Rapid Application Development
NI	National Instruments

Seznam použitých symbolů

B	magnetická indukce (T)
f	frekvence (Hz)
H	intenzita magnetického pole (Am^{-1})
I, \hat{I}	fázor elektrického proudu (A)
j	imaginární jednotka
U, \hat{U}	fázor elektrického napětí (V)
u_i	indukované napětí cívky (V)
Z	elektrická impedance (Ω)
Φ	magnetický indukční tok (Wb)
ϕ	fázový posun (rad, °)
ψ	magnetický tok cívky s N závitů (Wb)
π	Ludolfovo číslo (-)
ω	úhlová frekvence (rad s^{-1})
θ	normovaná kruhová frekvence (-)

1 Úvod

Bakalářská práce řeší problematiku generování, měření, zpracování a analýzy signálů. Zadané téma vychází z oblasti měření charakteristik, analýzy sond vířivých proudů, principiálně tedy dvojbranů, jejich přenosové vlastnosti. Primárním úkolem této práce je navrhnout a zrealizovat aplikaci pro otestování stavu defektoskopických sond. Defektoskopické sondy se používají při vyhodnocování celistvosti feromagnetických i diamagnetických materiálů a jejich povrchů, například poruch ložiskových kuliček.

Toto téma vychází z potřeb praxe a jeho uplatnění je testování sond. Řešení zadaného problému je rozděleno na část teoretickou a na praktickou část. V teoretické části jsou vysvětleny některé metody měření dvojbranů, typy dvojbranů, se kterými se můžeme setkat, popis vývojového prostředí. Rozebrána je zde metoda zpracování změřených dat pomocí fourierovy transformace a naznačen princip na příkladu.

Praktická část se zabývá návrhem softwarové části a naměřenými daty. Hlavním výstupem práce je naprogramovaná aplikace. Jsou zde vysvětleny její funkce ve schématu, možnosti a vlastnosti, ovládání a nastavování. Aplikaci je možno upravovat pro případné rozšíření či využití v jiné aplikaci.

Vzhledem k tomu, že je téma zadáno velmi široce, je zde snaha o obecnější zaměření aplikace. Největší snaha však směřuje k využitelnosti hlavně pro potřeby kontroly defektoskopických sond a tak je teorie zaměřena na vlastnosti blízké této problematice.

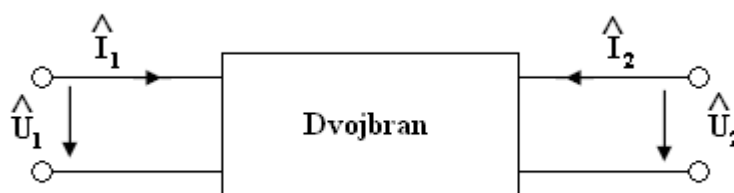
2 Rešerše teorie

Při přenosu či průchodu signálů přenosovou cestou dochází k různým zkreslením či úpravě přenášeného signálu. Signálové cesty jsou například impedanční cesty. Pro hodnocení kvality přenosu a zkreslení existuje řada kritérií. Pro uvažované cesty typu dvojbranů jsou kvalitativní parametry přenosu vyjádřeny pomocí charakteristik či charakteristických přenosových rovnic.

Odvození přenosových rovnic z fyzikálních vlastností prvků dvojbranu je prakticky nemožné. Všechny fyzikální jevy, které v nich probíhají prakticky nelze matematicky popsat. Vzhledem k tomuto faktu je možno závislosti mezi veličinami v obvodu z naměřených průběhů veličin vyjadřovat graficky. Hlavní závislosti veličin přenosu jsou amplitudová charakteristika a fázová charakteristika. Pro úplný popis dvojbranu je potřeba nejméně tři grafy, každý graf může zobrazovat jen závislost dvou veličin.

2.1 Dvojbrany

Mají vstupní bránu a výstupní bránu (svorky, konektory) a jejich účelem je úprava vstupního signálu na výstupní signál podle použité konstrukce dvojbranu. Konstrukce podle působení na přenášený signál mohou být například: zeslabení signálu, zesílení signálu, změnu frekvenčního spektra. Pro veličiny je dodržována konvence dle schématu.



Obrázek č. 1

Dělení dvojbranů:

- Souměrné
- Nesouměrné
- Aktivní
- Pasivní
- Lineární
- Nelineární

Souměrné dvojbrany je možno zaměnit výstupní svorky za vstupní bez změny funkce a charakteristik.

Nelineární dvojbrany: vztah mezi výstupní a vstupní veličinou není lineární a dochází ke vzniku vyšších harmonických signálů a tvarovému zkreslení

2.1.1 Lineární dvojbrany

Lineární dvojbrany při buzení ustáleným střídavým napětím dané frekvence $u(t)=A\sin(\omega t+\varphi)$ přiváděným na vstup mají na výstupních svorkách napětí z čehož vyplývá, že dvojbran má určitý napěťový přenos. Má i další přenosové funkce.

Napěťový přenos $\hat{A}_v = \frac{\hat{U}_2}{\hat{U}_1}$ kde U_1 je vstupní napětí a U_2 je výstupní.

Proudový přenos $\hat{A}_I = \frac{\hat{I}_2}{\hat{I}_1}$ kde I_1 je vstupní proud a I_2 je výstupní.

Přenosovou impedanci $\hat{Z}_T = \frac{\hat{U}_2}{\hat{I}_1} [\Omega]$

Přenosovou admitanci $\hat{Y}_T = \frac{-\hat{I}_2}{\hat{U}_1} [S]$

Analyticky lze dvojbrany popsat šesti rovnicemi či maticemi

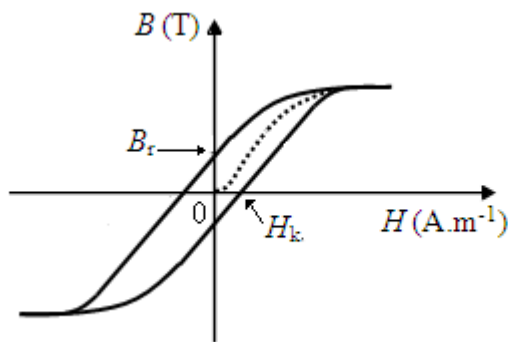
1. Impedanční
2. Admitanční
3. Hybridní sériově paralelní
4. Hybridní paralelně sériové
5. Kaskádní
6. Zpětně kaskádní

2.1.2 Nelineární dvojbrany

Obsahují nelineární prvky, mezi tyto patří například nelineární polovodičové prvky (diody, tyristory, tranzistory) nebo elektromagnetické vazby jako jsou transformátory. Polovodičovými nelineárními prvky se zde zabývat netřeba. Nelinearita transformátorů je způsobena hysterezní křivkou materiálu magnetického obvodu. Defektoskopické sondy jsou také založeny na principu vzájemné indukčnosti. Jakákoliv nelinearita ve střídavém elektrickém či elektromagnetickém obvodu způsobuje vznik vyšších harmonických složek signálu. Pro diagnostiku sond vířivých proudů je potřeba seznámit se s problematikou nelinearity hysterezní křivky.

2.1.3 Hysterezní křivka

Feromagnetické materiály, mezi něž patří kobalt, železo, jeho slitiny a nikl, mají relativní permeabilitu řádově 100 až 1000. Materiál nemusí být feromagnetikem, aby měl vysokou permeabilitu, tu mají i některé speciální slitiny mědi hliníku a manganu. Hysterezní smyčka je závislostí magnetické indukce na intenzitě magnetického pole a zároveň závislostí na magnetizačním proudu.



Obrázek č. 2

Popis vzniku křivky hystereze:

Při magnetizaci materiálu feromagnetika budeme uvažovat počáteční nulovou magnetickou polarizaci. Necháme růst magnetizační proud, roste intenzita H a narůstá magnetická indukce, zpočátku neznatelně, pak prudce stoupá a když je materiál téměř nasycen, indukce přestane téměř růst, ale intenzita ještě kus sílí. Zmenšováním magnetizačního proudu, začne klesat magnetická indukce ale již po jiné křivce. Při nulové intenzitě zůstává nenulová indukce. Tento bod se nazývá remanentní indukce B_r . Teprve až proud a intenzita projdou nulou do záporných hodnot, klesne indukce na nulu. Tento bod je značen koercitivní intenzitou H_k . Dále intenzita klesá a chová se analogicky jako v prvním kvadrantu grafu. Následkem značné nelinearity křivky je při harmonickém buzení způsobeno, že magnetizační proud již není harmonický.

Nelinearity způsobují vznik vyšších harmonických složek signálu, to deformuje původní průběh téměř ideálního signálu a podle obsahu vyšších harmonických se různě tvaruje. Pokud obsahuje převážnou složku lichých harmonických, je sinusovka deformována ke tvaru obdélníku. Liché harmonické v protifázi tvarují jeho průběh k trojúhelníkovému průběhu a u sudých harmonických například do pilovitého průběhu. Pro síťové transformátory platí, že například 3. harmonická je 150Hz čili násobek základního harmonického signálu. Obecně je pravidlo, že čím více se průběh signálu podobá výše zmiňovaným průběhům, tím více harmonických složek obsahuje. Omezení nelinearity v případech hystereze je možno ovlivnit velikostí indukce a intenzity tak aby se pohybovala v téměř lineární části charakteristiky čili v počáteční oblasti křivky.

2.2 Defektoskopické sondy

Defektoskopické sondy pro testování poruch vodivých materiálů, převážně kovů, pracují na principech elektromagnetismu. S jejich pomocí je možno analyzovat různé anomálie a vlastnosti testovaných materiálů.

Princip sond je založen na vzniku vířivých proudů. Vířivé proudy vznikají například při pohybu vodiče přes magnetické siločáry, kdy se ve vodiči naindukuje proud. Defektoskopické sondy jsou cívky napájené střídavým proudem. Průchodem střídavého proudu vyvolává magnetické pole a indukuje ve vzorku materiálu vířivé proudy. Tyto vířivé proudy vytváří své magnetické pole, jež zpětně do cívky sondy naindukuje proud. Tyto naindukované vířivé proudy se podle testovaného materiálu a poškození materiálu liší, což je podstatou analýzy. Změna na materiálu se promítne

do změny impedance cívky sondy. Defektoskopické sondy mají různé zapojení a počty vinutí, ale základní princip detekce je zachován.

Vztah pro indukované napětí na cívce:

$$u_i = \frac{d\Psi}{dt} = N \cdot \frac{d\phi}{dt} [V, Wb, s] \quad (1)$$

kde N je počet závitů cívky

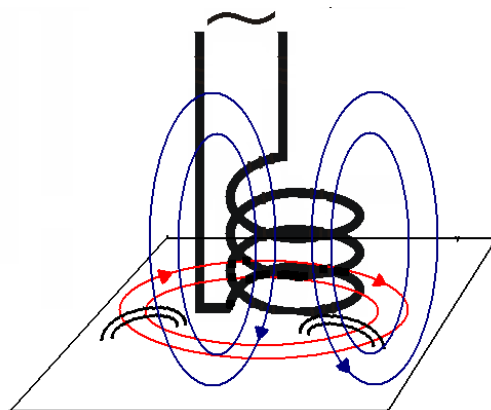
$\Phi [Wb]$ magnetický tok

$\psi [Wb]$ magnetický tok cívky s N závity

$u_i [V]$ indukované napětí cívky

$$u_i = N \cdot \omega \phi_{\max} \cdot \cos \omega \cdot t [V]$$

kde ω je úhlová frekvence



Obrázek č. 3

Několik typů sond podle konstrukce:

Absolutní sondy:

Jedno vinutí cívky, ta je buzena a zároveň se do ní indukuje proud podle výše uvedeného principu, vyhodnocuje se přímo impedance.

Diferenční sondy:

Dvě primární vinutí a vyhodnocuje se rozdíl jejich impedancí.

Reflexní sondy:

Dvě vinutí, primární budící a sekundární měřící, princip transformátoru.

Hybridní sondy:

Spojeny předešlé principy, nejcitlivější.

Pro zvýšení citlivosti sond bývá použito feritové jádro a uzavření do diamagnetického stínění. Reflexní sonda na obrázku.



Obrázek č. 4 [5]

2.3 Grafická zobrazení přenosových charakteristik:

Lepší představu o chování konkrétního dvojbranu v obvodu nám poskytne grafické znázornění kmitočtové závislosti jeho přenosu.

$$\hat{A}_U(j\omega) = \frac{\hat{U}_2(j\omega)}{\hat{U}_1(j\omega)} = A_U(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad (2)$$

kde $A_U(\omega)$ je amplituda (modul)

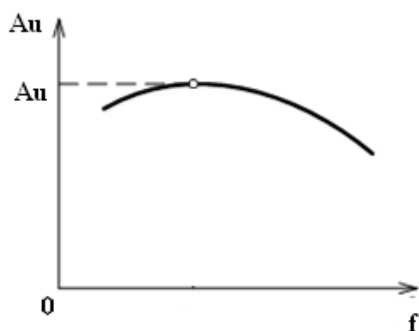
a $e^{j\varphi(\omega)}$ je fáze

Používají se dva způsoby:

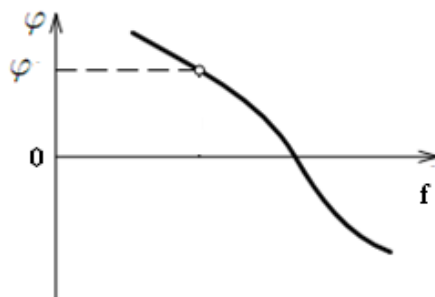
a) Zobrazení kmitočtových závislostí v Bodeho diagramu - odděleně útlumovou charakteristikou a pro fázi fázovou charakteristikou. Přenos v útlumové charakteristice je při tomto znázornění vyjádřen většinou v decibelech na lineárně rozložené svislé ose a na vodorovné ose je rozložena logaritmičtí frekvence. Obrázek č.5.

$$A_{UdB}(\omega) = 20 \cdot \log_{10} A_U(\omega) [dB] \quad (3)$$

Fáze je na svislé ose v lineárním rozložení, vodorovná osa je vynesena v logaritmičtích souřadnicích pro dobré obsáhnutí velkého kmitočtového pásma, ve kterém je daný přenos sledován. Obrázek č.6.

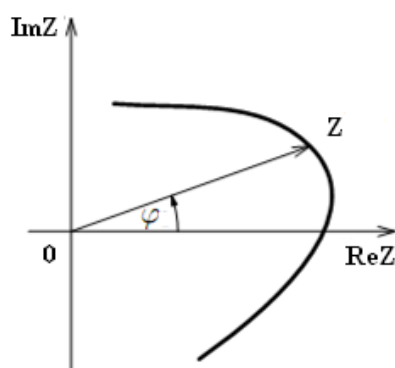


Obrázek č. 5



Obrázek č. 6

b) Druhou možností je zobrazení velikosti fáze a přenosu v Gaussově rovině fázorová kmitočtová charakteristika, nazývaná také Nyquistův diagram. Svislá osa zastupuje imaginární složku a vodorovná osa reálnou část přenosu. Na každý kmitočet v rozsahu odpovídá určitá velikost a směr fázoru přenosu, ty jsou určeny absolutní hodnotou přenosu a fází. Proto je každý fázor přenosu pro každý kmitočet vyjádřen orientovanou úsečkou, která spojuje počátek souřadnic s obrazem komplexního čísla A . Se změnou kmitočtu se mění jak fáze, tak i velikost přenosu. Fázová kmitočtová charakteristika v Gaussově rovině vzniká vykreslená hrotem úsečky přenosu, která je orientována podle fázového posuvu.



Obrázek č. 7

3 Metodika měření a zpracování signálů

K měření je použita univerzální měřicí karta. Vybrané vlastnosti použité měřicí karty jsou popsány níže.

Potřebná data pro analýzu: Vstupní a výstupní průběh napěťového signálu. Analýza je založena na porovnání vlastností typických pro sondu bez poruch s testovanou sondou. Jsou porovnávány přenosové charakteristiky a magnitudová spektra. Přenosová charakteristika je měřena v zadaném spektru, magnituda spektra jsou porovnávána na vybraných frekvencích.

Při poškození sondy se projeví rozdíl mezi přenosovou charakteristikou a spektrum s obsahem vyšších harmonických bude změněno oproti typickým hodnotám. Poškození feritových částí, stínění nebo nepřesného umístění jádérka se projeví změnou hystereze, která ovlivňuje spektrum.

Pro zpracování obou částí analýzy je použita Fourierova transformace, pomocí které je možno analyzovat signály o frekvenci v podstatě do omezení Shannon-Nyquistovým teorémem vůči vzorkovací frekvenci měřicí karty (f_s). Tímto je nejvyšší přímo měřitelná frekvence f_{\max} nutno aby byla $f_{\max} < f_s/2$. V případě překročení Nyquistova teorému by došlo k aliasinku, čili přeložení vzorkované frekvence (f_0) do spektra $<-f_s/2 - f_s/2>$, výsledná přeložená frekvence $= (f_0 - kf_s)$. Pro potlačení vyšších frekvencí nežli $f_s/2$ se proto u některých přístrojů používá antialiasink filtr. Ten utlumí vyšší frekvence vstupující do přístroje a tím zabrání překladu vyšších frekvencí do spektra.

4 Fourierova transformace

Pojmenována na počest francouzského matematika a fyzika Jeana Baptiste Josepha Fouriera (1768-1830)

Fourierova transformace je jednou z nejpoužívanějších transformací. Vyjadřuje obraz signálu do frekvenční oblasti s pomocí ortogonálních bázových funkcí. Pro vyjádření harmonických funkcí se často používá jejich exponenciální zápis, z něhož se dá snadno zrealizovat jeho reálná a imaginární část. Tyto funkce je možno (každou z těchto funkcí) vyjádřit jako součet či integraci harmonických funkcí, každou s různou vahou a fázovým posunem. Váhová funkce udává, které frekvence mají být použity

v superpozici pro zpětné obnovení původní transformované funkce. Toto váhové spektrum či funkce bývá označována jako trigonometrická Fourierova transformace (FT).

Samotná FT je definována integrálem a analytické řešení bude existovat jen pro minimum případů a numerické řešení je nekonečným integrálem. Vztah pro přímou Fourierovu transformaci spojitého signálu:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

Pro zpracování v digitální podobě již funkce není spojitá, ale jsou to hodnoty odečtené v diskrétních vzorkovacích okamžicích. Pro tyto signály je definována diskrétní Fourierova transformace (Discrete Fourier Transform), značená DFT, která již není integrální ale je polynomická se vstupními a výstupními posloupnostmi hodnot. Tato transformace je náročná na množství výpočtů rostoucí s kvadrátem velikosti vstupní posloupnosti. Postupem času byl vypracován algoritmus, který výrazně snižuje počet výpočtů při stejné vstupní posloupnosti a je nazýván rychlá fourierova transformace (Fast Fourier Transform, FFT). Tato metoda má široké uplatnění při zpracovávání různých signálů jako jsou frekvenční filtry, odstranění některých frekvencí (šumu) ze signálu, přenosové frekvenční funkce systémů, úprava obrazu tak aby došlo například ke zvýraznění hran či struktur, odstranění některých vad a podobně. Mnohé fyzikální jevy je možno zpracovávat také s pomocí FT aniž by bylo nutno vyrábět a sestavovat drahé aparatury, například zobrazování v ohnisku tenkých čoček, zobrazování za difrakční mřížkou či za štěrbinou. Promítnutý obraz je vyfocen a dále je zpracováván na počítači.

Pro uvedení do transformací diskrétních signálů je uvedeno několik základních diskrétních signálů.

4.1 Diskrétní signály:

Diskrétní signál je získáván ze spojitého signálu vzorkováním, kvantováním (přiřazením diskrétní úrovně) a kódováním (přiřazení hodnoty úrovně signálu).

Vzorkováním se z analogového časově spojitého signálu $x(t)$ přiřazuje analogová hodnota signálu v čase závislém na vzorkovací periodě $x_d(n)$, pro který platí vztah:

$$X_d(n) = x(nT)$$

kde T je perioda vzorkování

d – diskretní signál

Vzorkování signálu probíhá na vzorkovací frekvenci f_s

$$f_s = \frac{1}{T} \quad (5)$$

Diskretní harmonický signál:

$$x(n) = A \cdot \sin(\omega n T + \varphi) = A \cdot \sin(\theta n + \varphi) \quad (6)$$

kde θ je normovaná kruhová frekvence

$$\theta = \omega T = \frac{2\pi f}{f_s} \quad (7)$$

Mezi základní diskretními signály patří ještě jednotkový impuls, jednotkový skok a komplexní exponenciála.

Diskretní signál bude periodický pouze za předpokladu, že na jednu periodu vzorkovaného harmonického analogového signálu připadá celočíselný počet vzorků.

4.2 Definice DFT

Frekvenční spektrum vzorkovaného signálu $X(e^{j\theta})$ je spojitá funkce normované kruhové frekvence θ počítaná z nekonečného počtu hodnot $x(n)$. Při zpracování signálů číslicových filtrů se pracuje s konečnými počty vzorků frekvenčního spektra. Signály v oblasti času i frekvence mají stejný počet vzorků N a při výpočtech přímé i zpětné transformace jsou považovány za periodické. Přechodem mezi signály $x(n)$ v časové oblasti a signály ve frekvenční oblasti, které se značí $X(k)$, je tzv. finitní Fourierova transformace. V případě diskretních signálů se jedná o diskretní Fourierovu transformaci. Tato transformace je definována vztahy:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} nk} \quad (8)$$

pro $k=0,1,2,\dots,N-1$ přímá DFT

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (9)$$

pro $n=0,1,2,\dots,N-1$ zpětná (inverzní) DFT, (IDFT)

DFT tedy vypočte N hodnot spektra $X(k)$ z N hodnot signálu $x(n)$. Hodnoty spektra dostaneme pro diskrétní ekvidistantní (zachovávající mezi sebou konstantní vzdálenost) hodnoty frekvencí, začínající v $f = 0$ a vzdálené od sebe o hodnoty

$$\Delta f = \frac{1}{NT} = \frac{f_s}{N} \quad (10)$$

Množina těchto hodnot se nazývá DFT mřížka. Hodnota Δf se nazývá frekvenční bin. NT je pak celková doba odebrání signálu.

4.3 Rychlá Fourierova transformace

DFT je velmi časově náročná na výpočet a nejvhodnějším způsobem výpočtu polynomu N -tého stupně je Hornerovo schéma které pracuje s $N-1$ sčítání a násobení, tedy na danou transformaci $(N-1) \times 2 \times N$ operací což je přibližně $2N^2$ výpočtů. Proto bylo potřeba počet operací zmenšit a to minimalizací počtu násobení a kvůli větší časové náročnosti nežli sčítání.

Algoritmus Cooleyho a Tukeyho: redukce času je založen na definici fourierovy transformace - Vztah(8)

Zde je předpokladem N vzorků, kdy N je mocninou dvou a principem je rozdělení transformace do dvou částí (vektorů, posloupností) $(x_0, x_2, \dots, x_{N-2})$ a $(x_1, x_3, \dots, x_{N-1})$ jedny s lichými indexy druhé se sudými a každá část bude obsahovat $N/2$ složek. První polovina čísel $X(k)$ je získána tímto rozdělením transformace na dvě transformace s poloviční velikostí. Pro $X(k)$ pro interval $k=N/2$ až $N-1$ jsou čísla $X(k)$ získána z úvahy že se výrazy pro $X_k, X_{k+N/2}$ liší jen hodnotou $(e^{-j2\pi/N})^k$ ale transformace vektorů jsou stejné. Snížení doby výpočtů bude potom $2 \times (N/2)^2$ tj $N^2/2$

Odhadnutí rychlosti výpočtu lze vzít dle pomyslné konstanty pro jeden výpočet násobeno počtem maximálně $N \log N$. Maximálně je to vzhledem k tomu že jedničkou není třeba násobit tak je tento počet nižší.

Demonstrace principu výpočtu transformace pro $N=4$. Uvažujme tedy posloupnost

prvku $\{x_n\}_{n=0}^{n=3}$ a její transformaci $X(k) = \sum_{n=0}^{n=3} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{4}nk}$

Použijeme-li jednu rozklad transformace (dle Cooleyho a Tukeyho algoritmu), dostaneme:

$$x_0 + x_2 e^{-j\pi k} + [x_1 + x_3 e^{-j\pi k}] \cdot e^{-j\frac{\pi k}{2}} \quad (11)$$

tak pro jednotlivé hodnoty dostaneme

$$\begin{aligned} k = 0 & [x_0 + x_2] + [x_1 + x_3] , \\ k = 1 & [x_0 - x_2] - j [x_1 - x_3] , \\ k = 2 & [x_0 + x_2] - [x_1 + x_3] , \\ k = 3 & [x_0 - x_2] + j [x_1 - x_3] . \end{aligned}$$

Je tedy vidět, že je potřeba při výpočtu nejprve spočítat hodnoty tvaru $x_n \pm x_{n+2}$ a z nich poté určit výsledky podobným zkombinováním. Výpočet tedy může probíhat tak, že se nejprve spočtou hodnoty $X_{0,2} = x_0 \pm \sigma x_2$, $X_{1,3} = x_1 \pm \sigma_1 x_3$, kde $\sigma = \sigma_1 = e^{-j\pi} = 1 + j0$.

Ve druhém kroku se spočítají konečné hodnoty $X_{0,2} = x_0 \pm \sigma x_2$, $X_{1,3} = x_1 \pm \sigma_1 x_3$, kde $\sigma = e^{-j\pi} = 1 + j0$ a $\sigma_1 = \sigma e^{-j\pi/2} = -j$. Tento postup lze již jednoduše zobecnit pro libovolné N , které je mocninou dvojky. Pro lepší orientaci v poli hodnot je mnohem vhodnější danou vstupní posloupnost přerovnat. V jednotlivých součtech se potom sčítají prvky v bitově převráceném kódu: Pro příklad: původnímu 0111010 bude odpovídat v převráceném kódu 0101110. [6]

5 Popis prostředí LabVIEW

LabVIEW je zkratka vzniklá z Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench volně přeloženo (laboratorní prostředí pro vývoj virtuálních přístrojů). Patří do moderních vývojových prostředí s programovacím jazykem typu RAD. Zkratka vznikla z Rapid Application Development což vypovídá o tom, že v daném prostředí je vyvíjení programů efektivní a rychlé. To spočívá v relativně snadném navrhování blokového diagramu a uživatelského prostředí. Prostředí je založeno na grafickém programovacím jazyce G, systému programování patentovaném firmou National Instruments. Místo psaní zdrojového kódu pracujeme s „obrázky“ a tak většina programování probíhá pomocí myši.

Programy vytvořené v Labview se dají nazvat virtuálními přístroji (Virtual Instrument, VI) a funkčně a vzhledově jsou v podstatě obdobou skutečných přístrojů. Pro tvorbu těchto VI obsahuje prostředí Labview velkou škálu nástrojů pro sběr dat, jejich analýzu, zobrazení a ukládání, načítání apod.

Každé VI se skládá ze dvou částí: Z uživatelského rozhraní, kterému se v terminologii LabVIEW říká čelní panel VI a z blokového diagramu který je v podstatě zdrojovým kódem VI.

5.1 Základní části virtuálního přístroje:

Čelní panel:

Na čelním panelu je budoucí uživatelské rozhraní, které by mělo být vzhledově podobné fyzickým měřicím přístrojům. Na tomto panelu jsou dva základní typy prvků, ovládací, které jsou vstupními bloky, čili z nich signál vstupuje do aplikace a indikační – ty reprezentují výstupní zařízení a na nich jsou indikovány či zobrazeny výstupní informace pro uživatele.

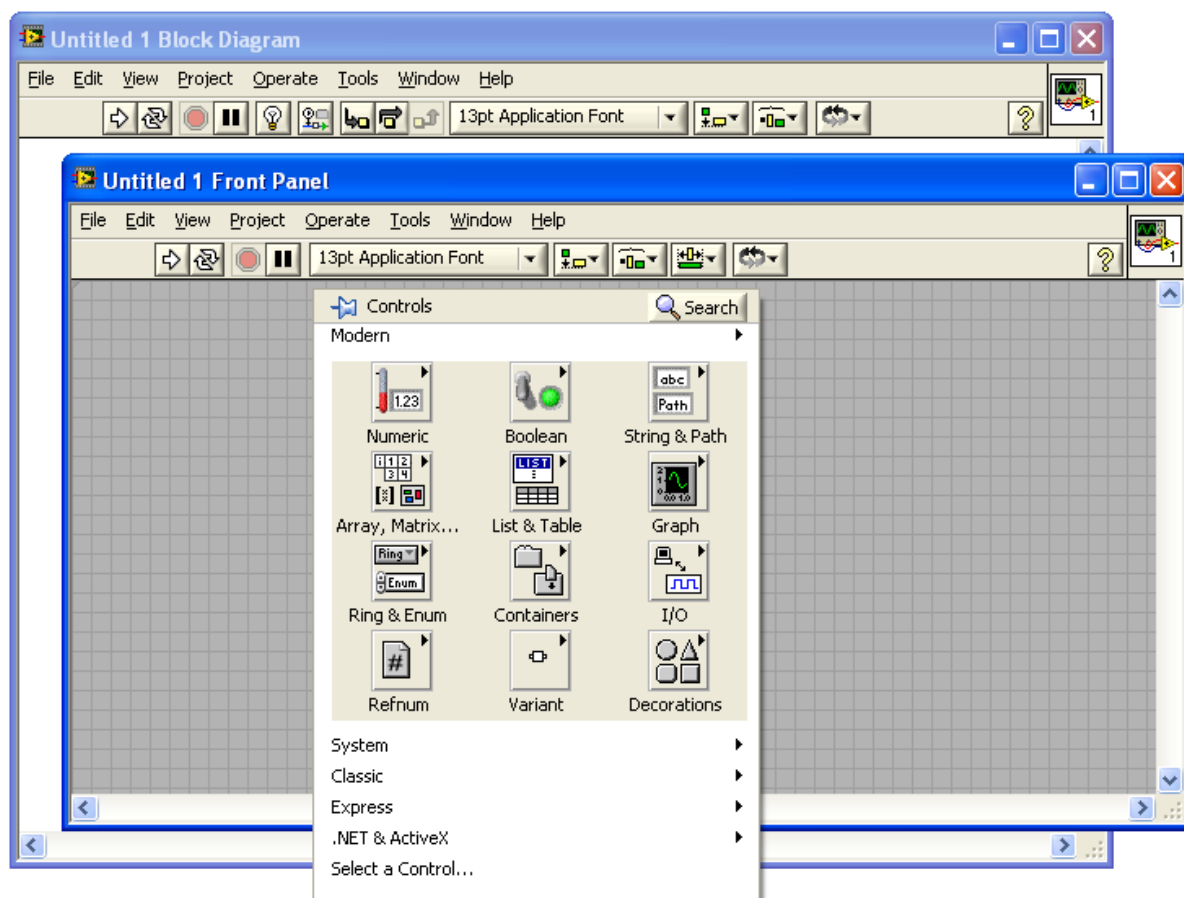
Blokový diagram:

V blokovém diagramu se programuje vkládáním a spojováním funkčních bloků, je zde nepřeborné množství funkčních bloků

Po spuštění prostředí se zobrazí jako první okno Getting started na kterém je možno vybrat zda bude otevřen některý z předdefinovaných VI, nebo bude otevřen některý z naposled zavřených či nové VI.

V otevřeném VI jsou již výše zmíněná dvě okna. Abychom mohli přidávat další „ikony“ vyvoláme pravým tlačítkem myši kontextové menu a potřebnou komponentu vyhledáme v paletě funkcí či nástrojů. V blokovém diagramu se programuje spojováním bloků pomocí „čar“ či „drátů“ které zobrazují datové toky mezi bloky, podle datových typů a struktury se liší jejich barva a tloušťka.

Programovat je možno několik způsoby, jedním ze způsobů je začít rozprostřením funkčních bloků v blokovém diagramu a postupné pospojování datovými spoji s tím že indikátory nebudeme vkládat, ale vytvoříme je kliknutím pravým tlačítkem myši na výstupní bod z bloku a vybereme vytvořit indikátor – tím máme zajištěno, že bude zobrazovat správně výstupní datový typ.



Obrázek č. 8

Druhou možností je vytvoření uživatelského prostředí na čelním panelu, když přesně víme které ovládací prvky a indikátory použijeme a poté navrhujeme samotné blokové schéma.

Ve většině případů programování se tyto dva způsoby kombinují.

Na obrázku č.8 je okno uživatelského prostředí s vyvolanou paletou Controls, ze které můžeme vkládat ovládací prvky a indikátory na plochu čelního panelu.

Spouštění aplikace se provádí pomocí tlačítek na front panelu (viz obrázek č.9).

V případě že je v programu chyba typu nespojený vodič, neodpovídající datový typ, není možno jej spustit, spouštěcí šipka je zobrazena jako přerušená. Kliknutím na ní je chyba zobrazena.



Obrázek č. 9

Z blokového diagramu je několik možností spuštění, jediný průběh programu nebo cyklický běh programu, dále lze program krokovat, je možno zobrazit zpomaleně tok dat, vkládat breakpointy, zjišťovat aktuální data ve vybraných místech. [2]

6 Popis měřící karty

Měřící karta NI PCI 6221 je od firmy National Instruments. Její ovladače mohou pracovat s operačními systémy Linux, Mac OS, Windows

6.1 Analogové vstupy

Karta má 16 analogových vstupů při zapojení RSE (nesymetrický vstup – jedna linka k +PGIA druhá na analogovou zem) či NRSE (pseudodiferenciální zapojení – jedna linka k +PGIA druhá není propojena s analogovou zemí). Případně diferenciální zapojení, kdy je možno použít v podstatě pouze osm analogových vstupů.

Rozlišení na kanálu je 16 bitů, maximální napěťový rozsah vstupů je -10, 10V s přesností 3100 μ V a citlivostí 97,6 μ V

Minimální napěťový rozsah je -200 mV, 200 mV s přesností 112 μ V a citlivostí 5,2 μ V

Nemá simultánní sběr dat což při měření na více kanálech a potřebě vyhodnocování vztahu mezi těmito signály zanáší časovou prodlevu v posunutí mezi těmito signály. Čas snímání vzorku na jednom kanálu a na druhém je rozdílný protože karta multiplexuje. V mnoha případech je nutno provést korekci této prodlevy. Multiplexování při použití více kanálů také snižuje použitelnou vzorkovací frekvenci na kanál. Vzorkovací frekvence této karty na analogových vstupech je 250kS/s

6.2 Analogové výstupy

Dva kanály: Rozlišení na vstupech je 16 bitů, při maximálním rozsahu napětí -10V-10V s přesností 3230 μ V

Maximální rychlost aktualizace vzorků na výstup je 833 kS / s

Výstupní zatížení na jeden analogový kanál je 5 mA

6.3 Digitální I / O

Karta má 24 obousměrných kanálů,

Max rychlost hodin 1 MHz

Logické úrovně TTL Maximální vstupní rozsah 0 V, 5 V

Maximální proud jednoho digitálního kanálu je 24 mA

Stabilita časové základny 50 ppm

I / O konektor 68-pin samice VHDCI

7 Praktická část-Software

7.1 Návrh prostředí

Podstatná část v této úloze je zpracování signálu na počítači. Data jsou zpracovávána s využitím moderních matematicko - technických programových prostředků, které v sobě mají implementovány obsáhlé spektrum nástrojů pro analýzu a zobrazování výsledků analýzy.

Zadání je poměrně obecné a dává volné pole působnosti, což umožňuje zvolit optimální způsob řešení softwarové části. Výsledná uživatelská aplikace by měla mít tyto vlastnosti:

- Uživatelsky přívětivá
- Intuitivně ovladatelná
- Přehledně zobrazovat výsledná data
- Nastavování rozsahů
- Pracovat v reálném čase
- Pracovat v cyklické smyčce

8 Rozbor návrhu v blokovém diagramu

Blokový diagram prostředí sestává z několika funkčních podsystémů.

Tyto podsystémy jsou:

1. Řízený generátor sinusového signálu
2. Vstupně-výstupní komunikační část
3. Zpracování, vyhodnocení dat pomocí FFT a zobrazení

8.1 Sinusový generátor

Vstupní data: požadovaný rozsah generovaných frekvencí, lze nastavit jeho amplitudu. Pro měření charakteristiky je ze zadaného rozsahu vypočítána posloupnost frekvencí v rozsahu. Je na výběr mezi dvěma délkami měření, padesátibodové a dvoustebodové. Rozložení posloupnosti frekvencí je logaritmické. Pro zjištění magnitudového spektra jsou vybrány frekvence s ohledem na zobrazení ve spektru.

8.2 Vstupně-výstupní část

Obsahuje bloky pro komunikaci s měřicí kartou. Výstupní část přijímá datový tok z generátoru sinusového signálu a převádí jej do D/A převodníku měřicí karty. Převod obstarává DAQ Assistant. Pro vstupní část je použit opět DAQ, který převádí data

z A/D převodníku měřicí karty do datového toku. V blocích DAQ je nutno nastavit několik parametrů.

8.3 Zpracování, vyhodnocení dat pomocí FFT a zobrazení

Data přijatá z předchozího bloku jsou zpracována pomocí rychlé fourierovy transformace. Spektrum signálu je vypočteno z n vzorků signálu. Moduly odpovídající frekvenci budícího signálu jsou vybrány ze získaného spektra. Z postupně po sobě jdoucích měření na vstupních kanálech jsou data ukládána a z nich vypočítávány přenosové veličiny. Po proměření zadaného rozsahu je vykreslen graf. Dále je zobrazeno spektrum k vybrané základní frekvenci pro porovnání.

8.4 Popis programu

Program je uzavřen v cyklické smyčce, převážná část programu je vložena do for cyklu. Ten mění frekvence v rozsahu padesáti nebo dvousetbodového měření.

V průběhu práce bylo navrženo několik řešení pro sinusový generátor. Každé má své výhody i nevýhody. První verze fungovala na principu rozmítání frekvence.

Nevýhody: Rozmítání frekvence je ve svém rozsahu lineární což se pro zobrazení v širším spektru měřených frekvencí nehodí, neboť zobrazení v charakteristikách na frekvenční ose je logaritmické.

Výhody: Velký počet frekvencí, které jsou v rozsahu proměřeny díky plynulé změně frekvence.

Následující verze vypočítává diskrétní frekvence signálu exponenciálně.

$$a = \sqrt[n]{\frac{f_{\max}}{f_{\min}}} \quad f_n = f_{\min} \cdot a^n \quad (12)$$

kde a je vypočtená konstanta

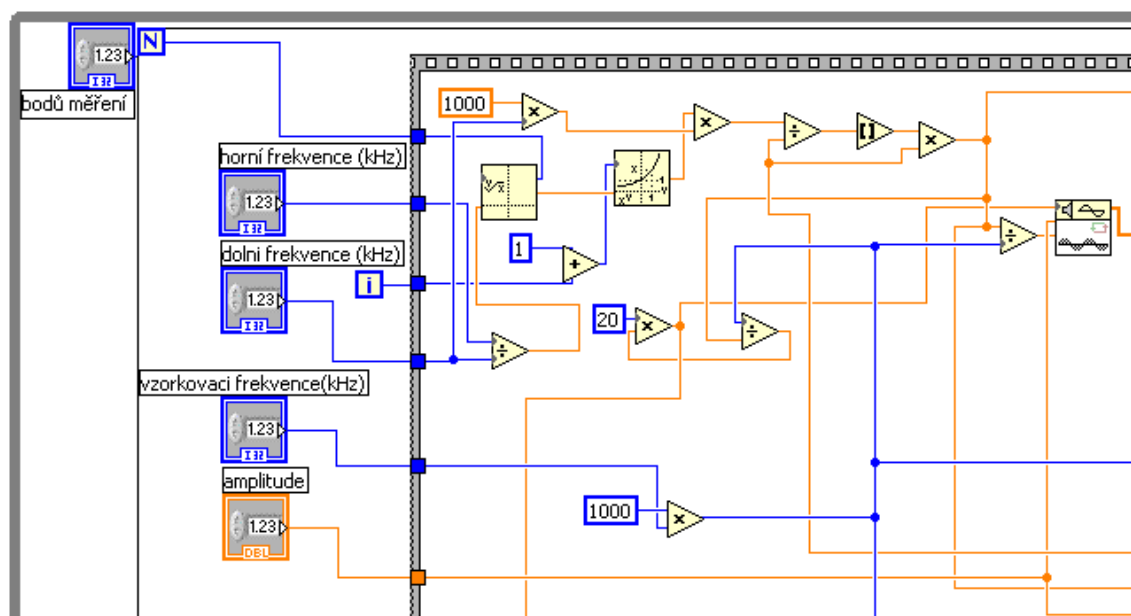
n je počet měřených frekvencí v rozsahu

f_n je n -tá frekvence rozsahu

Výhodou tohoto způsobu je logaritmické rozložení frekvencí v měřeném rozsahu.

Menší nevýhodou je měření na diskretních frekvencích kdy dochází ke změně frekvence skokově. Pro zabránění vzniku chyb při odečítání magnitudy ze spektra je vypočtená frekvence upravena aby vycházela vždy jako násobek základní diskretní frekvence.

Výřez z blokového diagramu: výpočet a generování signálu



Obrázek č. 10

Frekvence je do generátoru zadávána v jednotkách N vzorků na periodu. Frekvence je tedy vypočtena f_n/f_s

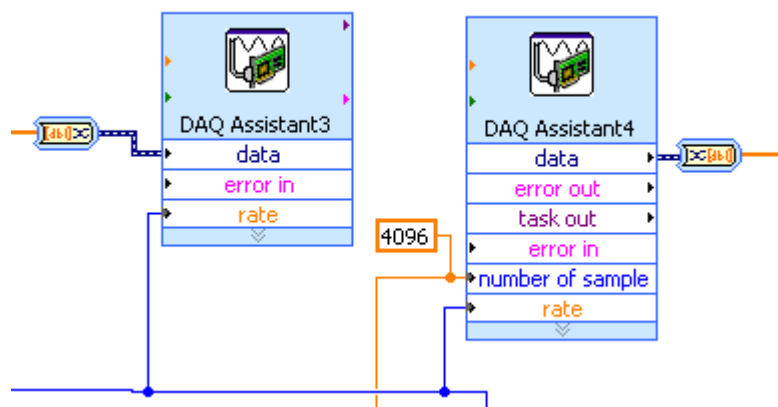
Pro zjištění spektra jsou frekvence vybírány z intervalu s poměrem $f_0=f_s/k$, kdy k je z intervalu $\langle 2,08-2,38 \rangle$.

8.4.1 Vstupně výstupní část

Obsahuje bloky pro komunikaci s měřicí kartou. Jsou to „univerzální ovladače“ pro měřicí kartu. Do výstupního bloku vstupuje dynamický datový tok (ddt) ze sinusového generátoru. Data ze samotného generátoru je nutno překonvertovat z pole do ddt. Dále je zde nastavena obnovovací frekvence D/A převodníku a počet poslaných vzorků do převodníku.

Vstupní blok převádí data z A/D převodníku do ddt, který je překonvertován do pole. DAQ assistant má nastavenou vzorkovací frekvenci f_s počet vzorků je volen 2^n kvůli

zpracování FFT, počet vzorků je zvolen 4096. Kanál je potřeba nastavit na správný typ měření: analogový napěťový vstup, port, měřící rozsah, způsob měření.



Obrázek č. 11

DAQ Assistanty pro vstup a výstup, výřez ze schématu.

8.4.2 Zpracování dat

Do bloku výpočtu spektra pomocí FFT vstupuje pole ze vstupního bloku. Je nutno nastavit několik parametrů. Výběr okénkovací funkce, zobrazení v decibelech a fáze v stupních. Výstupem z bloku jsou dvě spektra, amplitudové a fázové v datovém clusteru.

Zpracování spekter probíhá v další sekci programu:

Cluster amplitudového spektra je rozdělen do třech částí, první část je informace o f_0 druhá je informace o Δf a třetí je pole obsahující uložené samotné spektrum. Počáteční frekvence spektra je f_0 , Δf je rozdílová frekvence. Ve spektru je vybrána magnituda odpovídající budící frekvenci. V případě že by tato frekvence nebyla násobkem Δf mohlo by nastat rozmazání spektra a obtížné interpretaci magnitudy na f_n . Kvůli zjednodušení a zamezení vzniku této chyby je frekvence budícího signálu přizpůsobena aby byla právě násobkem Δf . Při výpočtu frekvence je tak provedena korekce. Ze známého budícího napětí a napětí vypočteného ze spektra je stanovena hodnota přenosu na dané frekvenci.

Magnitudové spektrum:

Zobrazené magnitudové spektrum má vyznačenou základní harmonickou frekvenci. Tato frekvence je vybrána s ohledem na zobrazování přeložených vyšších harmonických tak, aby se tyto přeložené frekvence nepřekrývaly a bylo tedy možno je lokalizovat.

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, pro změření výstupního signálu o frekvenci budícího signálu je potřeba dodržet Shannon Nyquistův teorém. Pro zobrazení vyšších harmonických ve spektru by vzorkovací frekvence musela být pro přímé zobrazení adekvátně vysoká. Vzhledem k tomu že použitá měřicí karta nemá na vstupech antialiasing filtr, obsah vyšších harmonických, vyšších než $f_{smax}/2$ se přeloží do spektra $<0, f_s/2>$ podle vztahu

$$f_{alias} = f_0 - k \cdot f_s \quad (13)$$

Labview používá pro zobrazování spektra jen jeho kladnou část, tak se z očekávaného intervalu $<- f_s/2, f_s/2>$, který je používán například v prostředí Matlab, stane interval $<0, f_s/2>$. Frekvence ze záporné části spektra jsou pouze frekvence s opačnou fází při přeložení do kladné části. Díky překládání je možno zjistit omezený počet vzniklých vyšších harmonických.

Pro příklad: $f_s=200\text{kHz}$, vzorkovaná frekvence 90kHz se při druhé harmonické přeloží na 20kHz s opačnou fází, třetí harmonická na 70kHz , čtvrtá harmonická na 40kHz s opačnou fází, pátá na 50kHz .

Výběr poměru frekvence vzorkovací a frekvence základní harmonické:

Poměr základní harmonické a vzorkovací frekvence je nutno vybírat pečlivě, aby platilo $f_0 \neq k \cdot f_s/2$, kdy k je celé kladné číslo. A zároveň f_0 je z intervalu $(f_s/4 ; f_s/2)$. Empiricky byl vybrán jako nejvhodnější poměr $f_s : f_0$ v intervalu $<2,08 - 2,38>$. V případě použití těchto koeficientů jsou přeložené frekvence dostatečně vzdáleny od sebe a nepřekrývají se.

9 Spektra sond

Pro zjištění typického obsahu vyšších harmonických byla změřena neporušená reflexní sonda s těmito výsledky: Dvě po sobě jdoucí měření spektra vykazují minimální rozdíly v obsahu přeložených vyšších harmonických. Opakované měření je z důvodu vyloučení chyb.

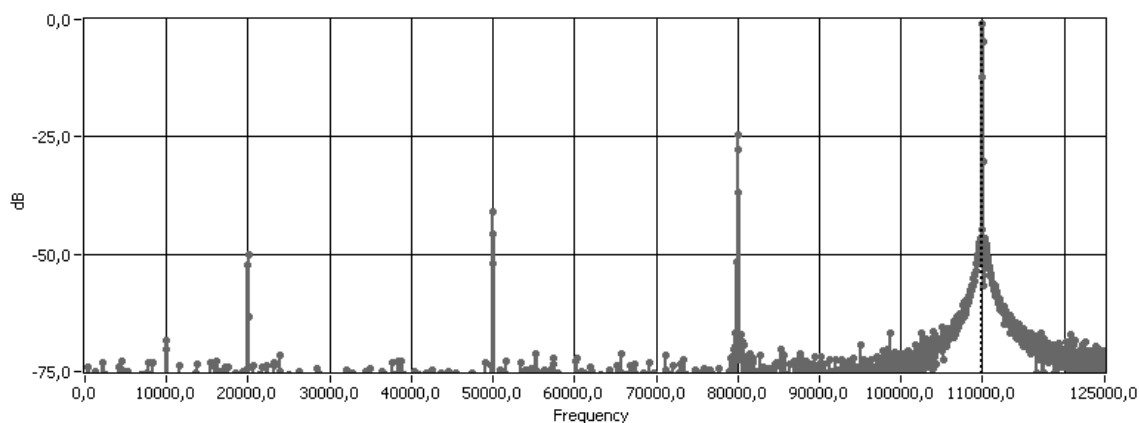
Nastavena maximální vzorkovací frekvence 250kS/s, budící signál na 110kHz.

Přeložené vyšší harmonické odpovídají teoretickému výpočtu:

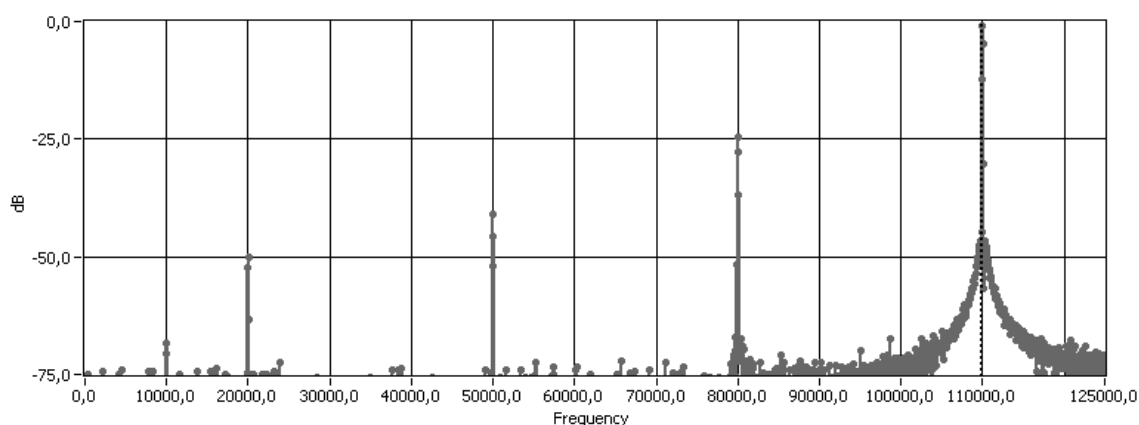
3harm.: $3 \times 110 - 250 = 80\text{kHz}$;

5harm.: $5 \times 110 - 2 \times 250 = 50\text{kHz}$;

7harm.: $7 \times 110 - 3 \times 250 = 20\text{kHz}$

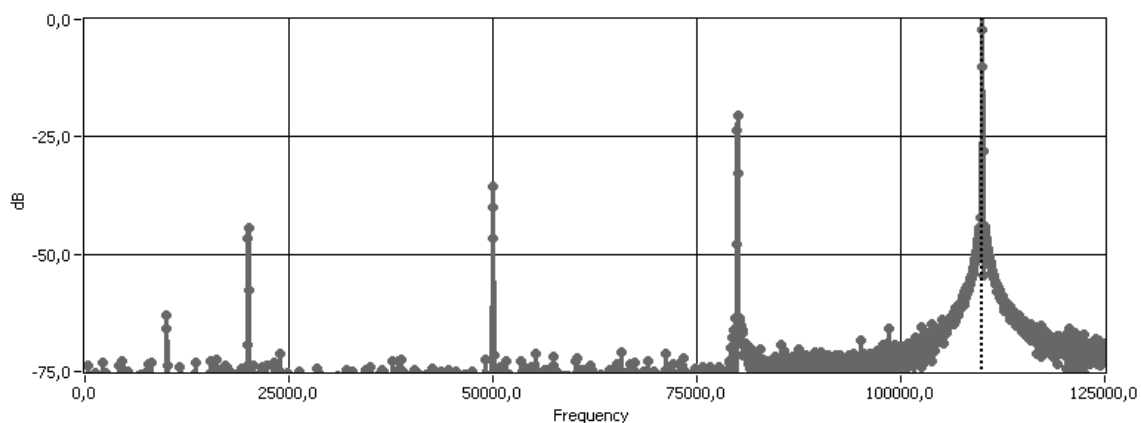


Graf č. 1



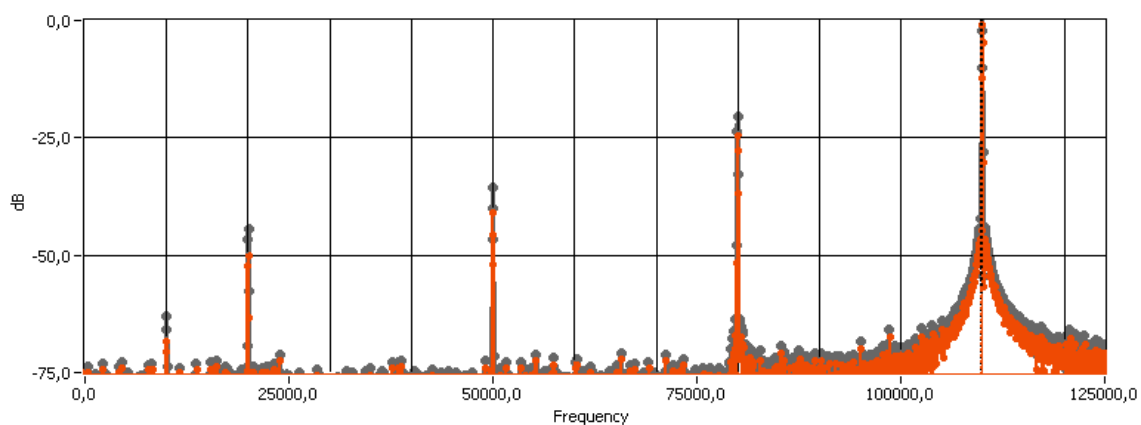
Graf č. 2

Sonda č.2: Pro srovnání měření poškozené sondy, kde je znatelný rozdíl od spektra získaného analýzou neporušené sondy.



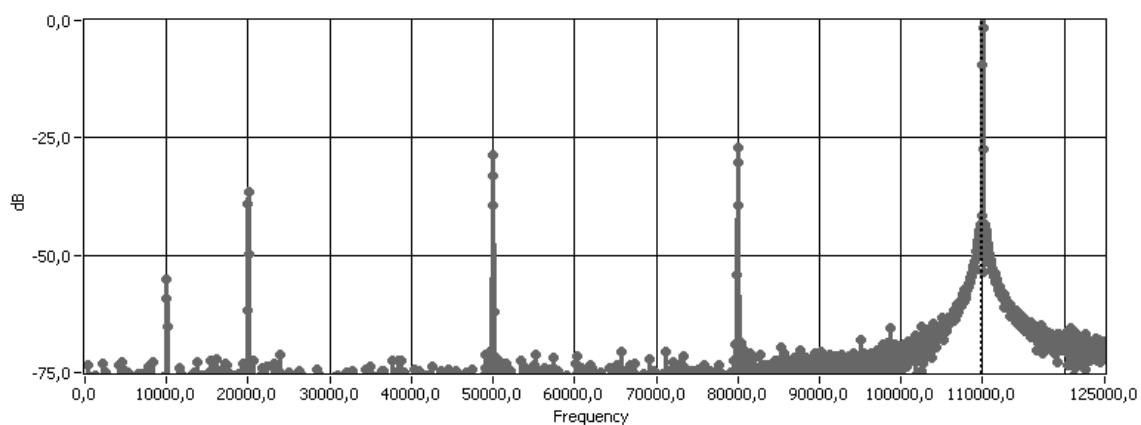
Graf č. 3

Rozdíl mezi poškozenou a referenční sondou: přeložené vyšší harmonické mají větší modul oproti referenční, rozdíl vyznačen překrytím spekter.

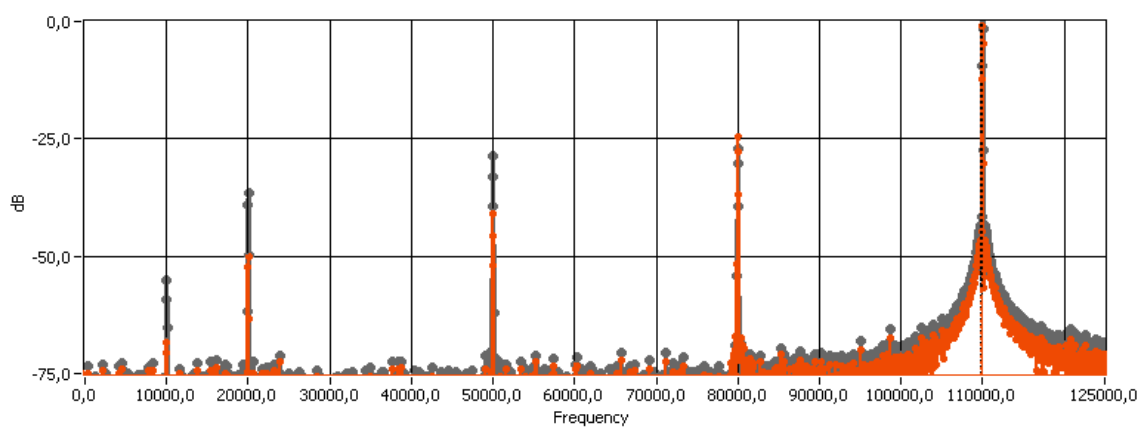


Graf č. 4

Sonda č.3: Výrazný rozdíl mezi referenční a měřenou



Graf č. 5



Graf č. 6

Toto testování nezjistí analyticky průběh nelinearit. Diagnostika spočívá v porovnání typických vlastností sondy s testovanou sondou.

10 Závěr

Téma bakalářské práce bylo zvoleno na základě současného využívání vývojového prostředí Labview k tvorbě virtuálních nástrojů pro analýzu zkrslení signálu. Zmíněná problematika byla hlavním tématem bakalářské práce.

I když je práce spíše teoretického charakteru a ve větší míře se věnuje popisům a sumarizaci pojmů spojených se získáváním, analyzováním a zobrazením dat, tak její praktická část může určitou měrou pomoci v diagnostice sond vířivých proudů.

Prostředí Labview je pro uživatele přehledné, převážnou většinu operací je možno zvládnout pomocí pohybu myši. K samotnému programování napomáhá barevné rozlišení datových typů.

Hlavním úkolem práce bylo vytvořit aplikaci pro analýzu základních typů zkrslení signálu. Aplikace byla naprogramována. Záměr práce byl směřován na jednoduchou principiální aplikaci analyzování sond vířivých proudů.

Analýza spočívá v porovnání typických vlastností sond. Uplatnění tohoto způsobu analýzy je možné při testování sond na relativně levné kartě s nízkou maximální vzorkovací frekvencí.

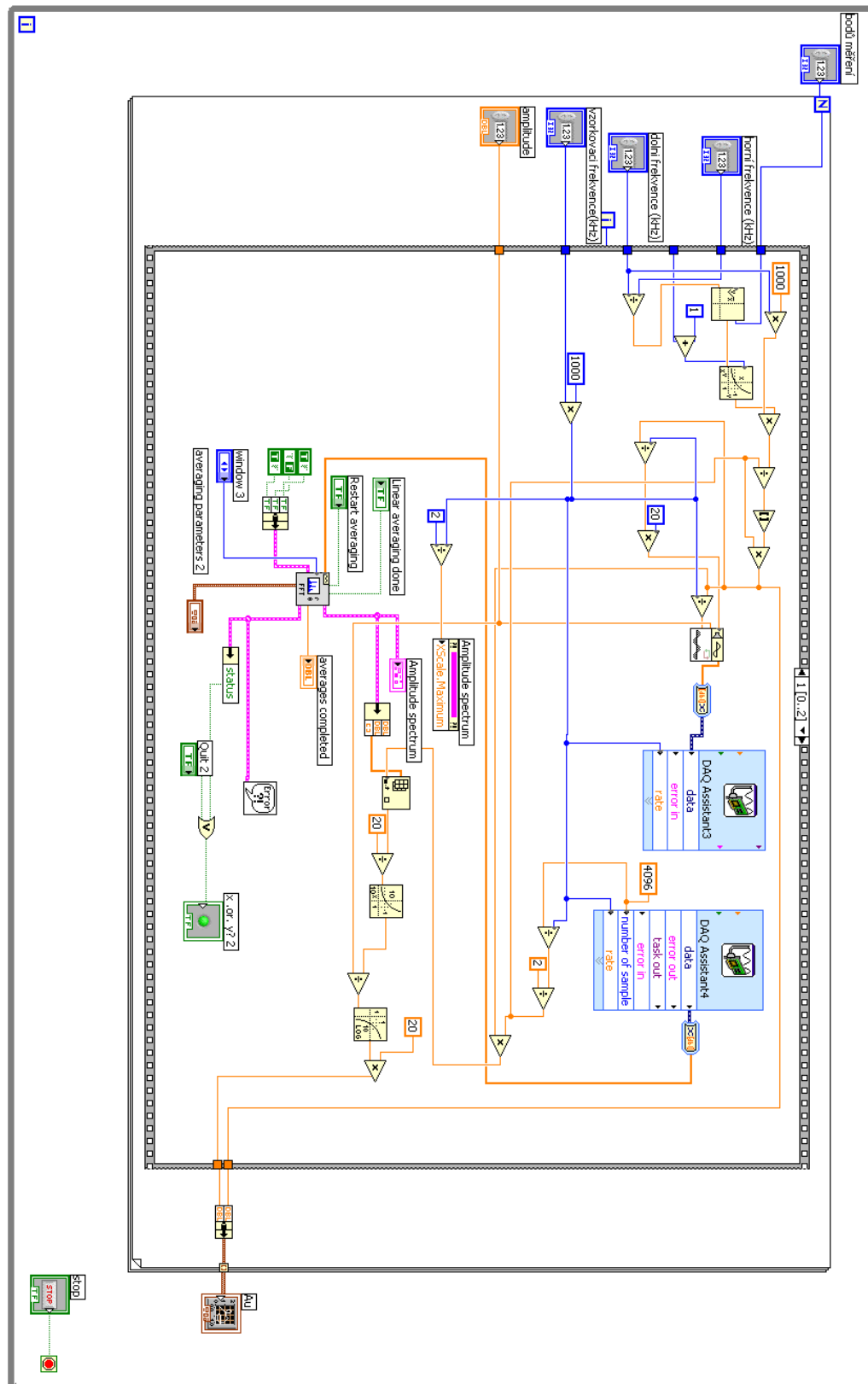
V práci je tento úsek popsán a jsou zde vysvětleny a řešeny veškeré vyskytnuté problémy.

11 Seznam použité literatury

- [1] Haasz, V., Roztočil, J., Novák, J., Číslicové měřicí systémy, ČVUT, Praha 2000
- [2] Vlach, J., Havlíček, J., Vlach, M.: Začínáme s LabVIEW, BEN Praha 2008
- [3] TŮMA J.: Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT. Sdělovací technika, Praha 1997. ISBN 80-901936-1-7
- [4] *National Instruments : NI Developer Zone* [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://zone.ni.com/dzhp/app/main>>.
- [5] BAŽANT, Jiří. *Defektoskopie vířivými proudy pomocí diferenčních reflexních snímačů*. [s.l.], 2008. 131 s. Dizertační práce. Technická univerzita Liberec, FM
- [6] *Apfyz.upol.cz* [online]. 2003 [cit. 2010-05-19]. Fourierova transformace. Dostupné z WWW: <<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/mini/fourtrans.pdf>>.
- [7] JAKSCH, Ivan. Přednášky k předmětu CMS: Základy frekvenční analýzy signálů a přístrojová technika, Technická univerzita Liberec, FM, 2009
- [8] NOUZA, Jan. Přednášky k předmětu SGI: Signály ve frekvenční oblasti, Technická univerzita Liberec, FM, 2008

Přílohy

A blokový diagram:



B uživatelské prostředí:

